

ровании. // Збірник наукових праць. Вип.6. — Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 2000. — С. 34-37.

3. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. — М.: Наука, 1984. — 717 с.

Получено 15.05.2002

УДК 624.016 : 624.046.3

В.Н.РУДАКОВ, канд. техн. наук

Харьковская государственная академия городского хозяйства

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРЕДЕЛОВ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА ОСЕВОЕ СЖАТИЕ, РАСТЯЖЕНИЕ И СДВИГ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В рамках теории скольжения определена функциональная зависимость предела прочности бетона на осевое сжатие R_b (R^*_b) от соотношения h/a , где a — сторона основания тетрагональной призмы, h — высота. Показано, что экстремальное значение R_b соответствует опытному параметру бетона, полученному при осевом раздавливании призмы высотой $h=a \cdot \operatorname{tg} \Phi$, где Φ — угол скольжения (угол наклона кристаллической плоскости скольжения к основанию призмы). Пределы прочности на растяжение и сдвиг определены из условия тривиальности главного вектора поверхностных (внутренних и внешних) сил, действующих на конечный объем бетонного образца, ограниченный поверхностью опорной грани и огибающей поверхностью линий скольжения.

Энергетический кризис в народном хозяйстве вызвал резкий рост стоимости энергоносителей, которые, в свою очередь, привели к значительному удорожанию строительных материалов. Оптимизация несущих строительных конструкций требует снижения их массы и стоимости. Это касается, в первую очередь, основных конструкционных материалов — стали и бетона. По исследованиям авторов [1] наиболее перспективными конструкциями, обеспечивающими экономию этих материалов, энерго- и трудозатрат, могут быть комплексные сталежелезобетонные конструкции, например, трубобетонные, в которых благодаря сочетанию *особых* физико-механических свойств стали (вязкости) и бетона (высокому углу скольжения) удастся добиться (при осевом сжатии) двух- и трехкратного упрочнения бетонного ядра.

Поэтому прогнозирование надежности работы рассматриваемых конструкций требует комплексных знаний о поведении этих материалов в условиях их совместной работы. И, прежде всего, установлению адекватности инвариантных контурных интегралов и практически измеряемых параметров: пределов прочности бетона на осевое сжатие, растяжение и чистый сдвиг.

Существующие методы определения прочности бетонов по контрольным образцам [2] не позволяют дифференцированно использовать прочностные характеристики бетонов в областях их рационально-

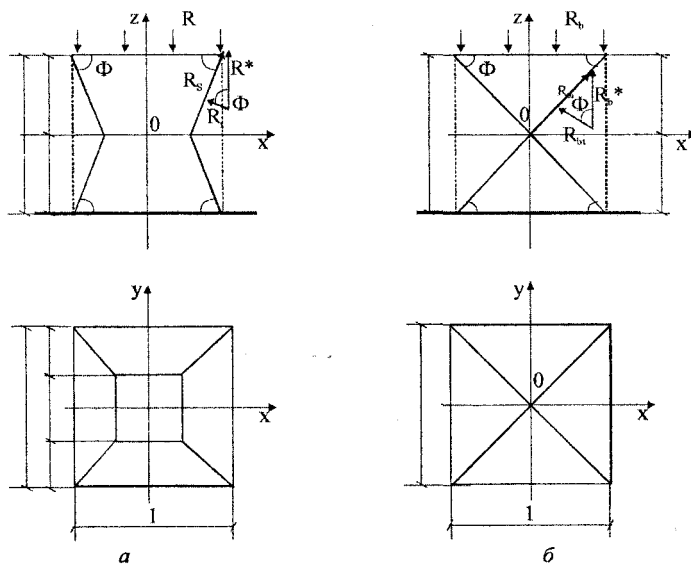
го применения.

Кубиковая прочность бетона R не является определяющим прочностным параметром бетона, а может лишь косвенно служить прочностной характеристикой для сравнительной оценки несущей способности материала. Призменная прочность бетона R_b также не выражает объективные прочностные свойства бетона, так как форма сечения призмы не отвечает принципам экстремальности. Более того, призменная прочность зависит от высоты контрольного образца, теоретическое значение которой не установлено.

Объективной прочностной характеристикой при осевом сжатии несущей бетонной конструкции является цилиндрическая прочность, так как геометрическая форма цилиндра соответствует принципам экстремальности, при условии, что и высота цилиндра отвечает этому принципу.

Рассмотрим поведение контрольных образцов бетона в рамках теории скольжения [3], т.е. когда механизм разрушения бетона при осевом сжатии представляется в форме преодоления межатомных связей вдоль кристаллических плоскостей скольжения.

На рисунке представлена форма разрушения куба (а) и призмы (б) при осевом сжатии.



а – схема разрушения куба при осевом сжатии;
б – схема разрушения призмы при осевом сжатии

Для упрощения площади основания куба A^k и призмы A^n принята равной

$$A^k = A^n = 1 \times 1 = 1, \quad (1)$$

высота призмы

$$h = \operatorname{tg} \Phi \quad (2)$$

определена физической константой материала – углом скольжения Φ . При осевом раздавливании куба огибающая поверхность линий скольжения представлена в виде боковой поверхности двух тетрагональных усеченных пирамид площадью оснований

$$A_{\text{б}}^k = 1(1) \text{ и } A_{\text{м}}^k = b^2, \quad (3)$$

где

$$b = 1 - 2a = 1 - 1/\operatorname{tg} \Phi = (\operatorname{tg} \Phi - 1)/\operatorname{tg} \Phi, \quad (4)$$

$$a = 0,5/\operatorname{tg} \Phi. \quad (5)$$

Отображая поверхность линий скольжения на плоскость XOY , получим:

$$\langle A^k \rangle = A_{\text{б}}^k - A_{\text{м}}^k = 1 - b^2 = (2\operatorname{tg} \Phi - 1)/\operatorname{tg}^2 \Phi. \quad (6)$$

Для призмы огибающая поверхность линий скольжения представлена в виде двух тетрагональных пирамид, соединенных вершинами. Проекция поверхности линий скольжения на плоскость XOY будет равна площади основания призмы, т.е.:

$$\langle A^n \rangle = A^n. \quad (7)$$

Из тождества

$$\langle A^k \rangle \cdot R = \langle A^n \rangle \cdot R_b \quad (8)$$

следует

$$R_b = \langle A^k \rangle \cdot R / \langle A^n \rangle \quad (9)$$

или, приняв

$$\langle A^k \rangle / \langle A^n \rangle = f = (2\operatorname{tg} \Phi - 1)/\operatorname{tg}^2 \Phi, \quad (10)$$

имеем

$$R_b = f R, \quad (11)$$

которое совпадает с ранее полученным [4].

Если принять для тяжелых и мелкозернистых бетонов угол скольжения Φ в границах $60 \dots 70^\circ$, то следует

$$f = 0,82 \dots 0,6, \quad (12)$$

т.е. приближаемся к опытной зависимости Графа [5], полученной для низких и средних марок бетона.

Так как прочность бетона при осевом сжатии определяется силами сцепления на атомном уровне, мы предлагаем метод определения предела прочности на растяжение при осевом сжатии тетрагональной призмы высотой

$$h = a \cdot \operatorname{tg} \Phi \quad (13)$$

в рамках теории скольжения с привлечением дифференциальных уравнений равновесия континуальной механики [6]. При этом ввиду малости массовых сил (малого объема контрольного образца и безинерционного приложения нагрузки) главный вектор поверхностных сил, действующих на конечный объем v сплошной среды, который ограничен поверхностью S , (включая опорную грань призмы и огибающую поверхность линий скольжения), определяем в виде интеграла:

$$\oint_S \vec{\sigma}_n dS = 0, \quad (14)$$

где $\vec{\sigma}_n$ — плотность поверхностных сил.

Решая интеграл (14) для расчетной схемы (см. рисунок, б), получим:

$$R_{bt} = 0,5 R_b \cdot \cos^2 \Phi, \quad (15)$$

$$R_{bs} = 0,5 R_{bt} \operatorname{tg} \Phi, \quad (16)$$

где R_{bt} , R_{bs} — соответственно, предел прочности бетона на растяжение и предел прочности бетона на срез при осевом сжатии.

В качестве примера в таблице приведены результаты обработки эталонных испытаний мрамора, песчаника и бетона с использованием (10...11, 13, 15) и ранее полученных автором зависимостей [7], кото-

рые подтверждают целесообразность проведенных теоретических исследований.

№ п/п	Автор	Материал	R_b (R^*_{bt}), кгс/см ²	Боковое давление		Угол скольжения Φ	R_p , кгс/см ² (опыт)	R^*_{co} , кгс/см ² (опыт)	R^*_{ct} , кгс/см	$\Delta = ((R^*_{co} - R^*_{ct}) / R^*_{co}) 100\%$
				σ_2 , кгс/см ²	σ_3 , кгс/см ²					
1	Т. Карман [8]	мрамор	1360	235	235	63,4°	136	2350	2294	+2,4
2				500	500			3150	3068	+2,6
3				685	685			3565	3635	-1,97
4				845	845			4055	4059	0
5				1650	1650			5550	5695	-2,63
6	Т. Карман [8]	песчаный глин	690	280	280	70,5°	42	2320	2197	+5,3
7				555	555			3135	3132	0
8				1550	1550			4850	5101	-6,8
9				2475	2475			6475	6436	+0,6
10	F. Smith, R. Brown [9]	Цементно-песчаный раствор	<317>	56	56	63,5°	30,5	543	551	-1,47
11				112	112			713	716	-0,42
12				168	168			886	890	-0,47

Для оценки предела прочности на сдвиг преобразуем формулу (16) в вид:

$$R_{bs} = \mu R_{bt} \quad (17)$$

где

$$\mu = \operatorname{tg} \Phi \quad (18)$$

— коэффициент внутреннего трения.

Зависимость (17) соответствует двучленному закону внешнего трения скольжения Дерягина [10] при отсутствии внешнего нормального давления F на огибающей поверхности линий скольжения, т.е.

$$\tau = \mu \cdot p, \quad (19)$$

где τ — касательное напряжение; p — молекулярное притяжение. Следовательно, зависимость (19) можно трактовать как закономерность внутреннего трения для поликристаллов с ненарушенными межатомными связями.

В предельном состоянии поликристалла можно принять

$$\tau = R_{bs}, \quad (20)$$

$$R_{bt} = \rho. \quad (21)$$

В запредельном состоянии разрушение поликристалла происходит в форме таутохронного скольжения структурных элементов границ жестких зерен вдоль кристаллических плоскостей скольжения, направление которых определяется углом скольжения Φ [3].

Если, например, принять для бетона $\langle \Phi \rangle = 65,5^\circ$, то $\mu = 2,2$; отожженного железа $\Phi = 35^\circ$, — $\mu = 0,7$; латуни $\Phi = 25^\circ$, — $\mu = 0,47$; алюминиевого сплава $\Phi = 30^\circ$, — $\mu = 0,577$, и т.п., т.е. коэффициент μ подтверждается экспериментально [11, 12].

- 1.Стороженко Л.І., Семко О.В., Єфіменко В.І. Сталезалізобетонні конструкції. — К.: Четверта хвиля, 1997. — 160 с.
- 2.Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. ГОСТ 10180-90 (Ст. СЭВ 3978-83). — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 46 с.
- 3.Рудаков В.Н. Новая физическая модель поликристалла для описания поведения бетона в сжатых трубчатых конструкциях // Науковий вісник будівництва. Вип. 18. — Харків: ХДТУБА, 2002. — С.83-93.
- 4.Семенов Я.П. Определение несущей способности бетонного ядра, заключенного в сплошную обойму // Бетон и железобетон. — 1960. — № 3. — С. 125-129.
5. Бушнов В.А. Железобетонные конструкции. Ч.1. — М.-Л.: Госстройиздат, 1940. — 159 с.
- 6.Илюкович Б.М. Введение в теорию пластичности. — К.: Вища школа, 1983. — 160 с.
- 7.Рудаков В.Н. Повышение надежности работы элементов конструкций при осевом и радиальном сжатии // Эксплуатация и ремонт зданий и сооружений городского хозяйства: Сб. науч. тр. ХГАГХ. — К.: ИСИО, 1994. — С. 157-165.
- 8.Карман Т. Опыты на всестороннее сжатие // Сб.: Новые идеи в технике. — Петроград: Образование, 1915. — С.51 -102.
- 9.Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. — М.: Госстройиздат, 1962. — 96 с.
- 10.Дерягин Б.В. Что такое трение? 2-е изд. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 230 с.
- 11.Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций / Под ред. А.А. Гвоздева. — М.: Стройиздат, 1978. — 204 с.
- 12.Теория пластичности // Сб. статей / Под ред. Ю.Н. Работнова: Пер. с англ., франц., немец. — М.: ИЛ, 1948. — 452 с.

Получено 23.05.2002